نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص. ۵۵۰-۵۳۷

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 4, Winter. 2020, p. 537-550

اثر باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات کیفی ارقام سویا (*Glycine max* L.) در شرایط مختلف رطوبتی

فرزاد مندنی[1*]، کیانوش خانی[2]، سعید جلالی هنرمند[3]، محسن سعیدی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹

چکیده

استفاده از کم‌آبیاری و باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه با صرفه‌جویی در مصرف آب می‌توانند به‌عنوان راه‌کارهای مدیریت پایدار منابع آب در مزرعه در افزایش سطح زیر کشت و نیز در تعیین الگوی کشت بهینه کمک نمایند. بر این اساس، این تحقیق با هدف ارزیابی نقش باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه در برخی از ارقام سویا تحت رژیم‌های رطوبتی به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه رازی در شرایط آب و هوایی منطقه کرمانشاه در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل رژیم‌های مختلف رطوبتی (آبیاری کامل در تمام طول فصل رشد (بدون تنش)، قطع آبیاری از مرحله اواسط تشکیل غلاف تا انتهای دوره رشد و قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه تا انتهای دوره رشد) به‌عنوان عامل اصلی و سویه‌های باکتری تقویت‌کننده *Bacillus licheniformis*، *B. subtilis* و بدون باکتری و ارقام سویای کوثر، M9 و TMS به‌عنوان دیگر فاکتورها در نظر گرفته شد. صفات مورد بررسی شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، وزن خشک کل، درصد روغن و درصد پروتئین بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۳۸۰/۹ گرم در متر مربع) و وزن خشک کل (۱۰۸۲/۸ گرم در متر مربع) در تیمار آبیاری کامل به همراه تلقیح با باکتری *سوبتیلیس* در رقم TMS و بیشترین وزن هزار دانه (۱۳۶/۲ گرم) و درصد پروتئین (۳۳/۲) نیز در تیمار آبیاری کامل به همراه تلقیح با باکتری *لیکنی‌فورمیس* در رقم TMS مشاهده شد. کمترین وزن هزار دانه (۸۴/۸ گرم)، عملکرد دانه (۱۳۴/۲ گرم در متر مربع)، وزن خشک کل (۸۲۸/۱ گرم در متر مربع) و درصد پروتئین (۲۱/۴ درصد) در تیمار قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف و بدون تلقیح باکتری در رقم کوثر مشاهده شد. نتایج این بررسی همچنین نشان داد که اثرات برهمکنش بین سطوح مختلف آبیاری، کاربرد باکتری‌های تقویت‌کننده رشد و ارقام بر صفات مورد ارزیابی سویا معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد کاربرد باکتری‌های تقویت‌کننده رشد از طریق افزایش تحمل گیاه به تنش کمبود آب به‌ویژه در شرایط تنش ملایم، باعث بهبود عملکرد سویا شد.

واژه‌های کلیدی: باکتری لیکنی فورمیس، تنش خشکی، درصد پروتئین، درصد روغن، رقم TMS، عملکرد دانه

مقدمه

تولیدات کشاورزی هر منطقه وابسته به وجود منابع آبی و متأثر از شرایط آب و هوایی آن منطقه است. با وجود این‌که نزدیک به ۷۰ درصد از سطح کره زمین را آب فرا گرفته ولی بحران و کمبود آب در بسیاری از کشورهای جهان از جمله کشورهای واقع در کمربند خشک زمین مثل ایران روز به روز ابعاد پیچیده‌تری به خود می‌گیرد و خشکسالی‌های اخیر نیز مزید بر علت می‌باشد. کمبود آب یکی از مهمترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تلقی می‌گردد. کشور ایران با متوسط نزولات جوی ۲۴۰ میلی‌متر در سال جزو این مناطق محسوب می‌گردد (FAOSTAT, 2017).

استفاده از رژیم‌های کم‌آبیاری با صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مدیریت آب در مزرعه در افزایش سطح زیر کشت و نیز در تعیین الگوی کشت بهینه کمک نماید (Biglouei *et al.*, 2013). کم‌آبیاری به‌عنوان راهکاری سودمند اقتصادی در وضعیت محدودیت آب و با هدف حداکثر استفاده از حجم آب مصرفی در واحد سطح مطرح است. در این روش حتی در صورت عدم کمبود منابع آب آبیاری، می‌توان با افزایش فاصله آبیاری، کم کردن آب آبیاری در هر نوبت و یا تلفیقی از این دو، کم‌آبیاری را به مورد اجرا گذارد (Brown *et al.*, 1995; Brevedan and Egli, 2003).

گیاه سویا (*Glycine max* L) از جمله لگوم‌های استراتژیک است که دارای ارزش غذایی زیادی می‌باشد. روغن این گیاه علاوه‌بر اسیدهای چرب اشباع مانند اسید پالمتیک (۶۲ درصد) و اسید

۱- استادیار اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت و اصلاح نباتات، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳- دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۴- دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: F.mondani@razi.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v17i4.74185

استئاریک (۱ درصد) دارای اسیدهای چرب غیر اشباع از جمله اسید اولئیک (۱۳ درصد) و اسید لینولنیک (۶۳ درصد) است (Vahadi and Gholinezhad, 2015). سویا به دلیل ارزش غذایی بالا، استفاده‌های فراوان دارویی و صنعتی مورد توجه خاص محققین مختلف بوده و به این علت بیشترین سطح زیر کشت دانه‌های روغنی را در دنیا (حدود ۱۱۷میلیون هکتار) دارا می‌باشد که از این سطح حدود ۳۰۶ میلیون تن عملکرد دانه به‌دست می‌آید، به‌طوری‌که سویا یک چهارم از روغن و دو سوم از پروتئین خوراکی جهان را فراهم می‌کند (FAOSTAT, 2017). مقدار تولید این محصول در ایران با توجه به مساحت حدود ۷۸ هزار هکتاری آن در حدود ۱۹۰ هزار تن گزارش شده است (FAOSTAT, 2017). در صورت کشت گیاه سویا در مناطق مختلف کشور، نیاز رطوبتی آن در طول دوره رشد از طریق آب آبیاری تامین می‌شود و در بسیاری از این مناطق، طی بحرانی‌ترین مراحل رشد یعنی مرحله گلدهی و پر شدن دانه، ممکن است هیچ‌گونه نزولات آسمانی وجود نداشته باشد. از طرفی، چون این مراحل عموماً با شرایط آب و هوایی گرم و خشک تابستانه مواجه می‌شود، لذا امکان طولانی شدن دوره‌های آبیاری و یا به تعویق افتادن دو تا سه آبیاری در طی مراحل حساس رشد بسیار محتمل می‌باشد (Akbari, 2012; Divsalar *et al*., 2016).

ناحیه محدود خاک که به‌طور مستقیم اطراف سیستم ریشه است، فراریشه (رایزوسفر) نام دارد. این مکان زیست‌گاهی مناسب برای تکثیر میکرارگانیسم‌هایی است که باعث حفظ، سلامت ِگیاه و حاصلخیزی خاک می‌شوند. ریزوباکتری‌های خاک در رایزوسفر در داخل، سطح و اطراف بافت گیاه گسترش یافته و رشد گیاه توسط آن‌ها تحریک می‌شود و به آن‌ها باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه (PGPR[1]) اطلاق می‌شود (Ruzzi and Aroca, 2015). این باکتری‌های کلونیزه‌کننده ریشه، به‌طور مستقیم و غیر مستقیم از طریق افزایش توانایی تثبیت نیتروژن (Khan, 2005)، محلول کردن فسفات نامحلول و دیگر عناصر غذایی (Jeon *et al*., 2003)، تاثیر آنتاگونیستی بر عوامل بیماری‌زا از طریق تولید سیدروفور، سنتز آنتی‌بیوتیک، آنزیم و یا دیگر ترکیبات قارچ‌کش (Dey *et al*., 2004) و افزایش تحمل به تنش شوری و خشکی باعث بهبود رشد و عملکرد گیاهان می‌شوند (Hokmalipour, 2017; Seyed-Sharifi *et al*., 2016). تلقیح بذر گندم (*Triticum aestivum*) با باکتری‌های تقویت‌کننده رشد (*Azospirillum, Azotobacter, Pseudomonas*) منجر به بهبود عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد در شرایط تنش کمبود رطوبت شد (Habibi, 2015). این گروه از باکتری‌ها به طور طبیعی در خاک وجود دارند ولی تعداد و تراکم آنها در خاک پایین است، بنابراین تلقیح بذر گیاهان با این باکتری‌ها می‌تواند جمعیت آنها را به حد مطلوب رسانده و منجر به بروز اثر مفید آنها در خاک شود (Sharifi *et al*., 2010). باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه می‌توانند به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم باعث افزایش رشد گیاه شوند (Besharati *et al*., 2017). سازوکارهای مستقیم شامل تثبیت ناهمزیست نیتروژن، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش قابلیت فراهمی عناصر معدنی نامحلول مانند فسفر و تولید آنزیم‌هایی همچون *ACC*– دآمیناز است (Glick, 1995). با توجه به مطالب ذکر شده، چنانچه بتوان با روش کم‌آبیاری و مدیریت مصرف آب در شرایط تنش خشکی و استفاده از باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه در جهت رسیدن به عملکرد مطلوب در ارقام مختلف سویا تلاش کرد، می‌توان شاهد افزایش عملکرد بود. بنابراین تحقیق حاضر در راستای ارزیابی نقش باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه بر ارقام سویا تحت رژیم‌های رطوبتی در شرایط آب و هوایی کرمانشاه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه (طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و۲۱ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۹ متر) اجرا شد. متوسط بارندگی سالیانه ۴۵۵ میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه منطقه به‌ترتیب، ۲۲/۶ و ۵/۹ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه با توجه تقسیم‌بندی اقلیمی آمبرژه جزو مناطق سرد نیمه‌خشک تا معتدل دسته‌بندی شده است. در این بررسی تجزیه خاک قبل از کاشت در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر صورت پذیرفت و در نهایت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش مشخص گردید (جدول ۱).

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم‌های مختلف رطوبتی (آبیاری کامل در تمام طول فصل رشد (بدون تنش آبیاری در حدود ۵۰ درصد تخلیه رطوبت)، قطع آبیاری از مرحله اواسط تشکیل غلاف تا انتهای دوره رشد و قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه‌ها تا انتهای دوره رشد) سویا به‌عنوان عامل اصلی و سویه‌های باکتری تقویت‌کننده (*Bacillus licheniformis*، *B. subtilis* و بدون باکتری) و ارقام سویای کوثر، M9 و TMS به‌عنوان دیگر فاکتورها در نظر گرفته شد که از بخش اصلاح و نهال بذر مرکز تحقیقات کشاورزی تهیه شد. رقم کوثر جزو ارقام زودرس تا میان رس، با طول دوره رشد حدود ۱۱۵ روز، جزو ارقام نیمه پابلند تا پابلند، عملکرد بالا و مقاوم به بیماری از جمله فیتوفتورا، رنگ بذر زرد با ناف سیاه، تیپ رشدی نامحدود، مقاومت به ریزش و خوابیدگی، وزن هزار دانه حدود ۱۳۵ گرم و با درصد پروتئین حدود ۳۴ درصد است. رقم M9، جزو ارقام زودرس تا میان رس، طول دوره رشد آن حدود ۱۲۰ روز، نیمه پابلند تا پاپلند، تیپ رشدی

1- Plant Growth Promoting Rhizobactria

نامحدود و چندشاخه، مقاومت به ریزش و خوابیدگی، رنگ بذر زرد با ناف سیاه، وزن هزار دانه ۱۲۵ گرم و درصد پروتئین حدود ۳۶ درصد است. رقم TMS جزو ارقام زودرس، طول دوره رشد حدود ۱۰۵ تا ۱۱۰ روز، نیمه پابلند، تیپ رشدی نامحدود و چند شاخه، مقاوم به ریزش و خوابیدگی، رنگ بذر زرد یکدست بدون ناف سیاه، وزن هزار دانه حدود ۱۲۵ گرم و درصد پروتئین حدود ۳۵ درصد است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک زمین آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental field

فسفر قابل‌جذب Absorbable phosphorus (ppm)	پتاسیم قابل‌جذب Absorbable potassium (ppm)	اسیدیته pH	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.\ m^{-1}$)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت Texture	عمق Depth (cm)
9.6	282.4	7.4	0.15	1.5	0.60	17.7	36.7	45.6	رسی- سیلتی Clay-Silt	0-30

عملیات آماده‌سازی بستر بذر در اوایل اردیبهشت ماه آغاز و کاشت در نیمه دوم اردیبهشت ماه به‌صورت خشکه‌کاری انجام شد. عملیات تهیه بستر بذر شامل شخم عمیق، دیسک زدن و ماله بود که در بهار همان سال انجام شد و سپس مزرعه توسط فاروئر ردیف‌بندی و کرت‌بندی گردید. ابعاد کرت‌های اصلی و فرعی به‌ترتیب، ۶ × ۲۲/۵ و ۶ × ۲/۵ متر در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایشی نیز شامل پنج ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و طول ۶ متر بود. تراکم نهایی مزرعه برای بذور ارقام مختلف، ۴۰ بوته در متر مربع در نظرگرفته شد (Khademhamzeh *et al.*, 2004). به‌منظور تلقیح باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه ابتدا محلول مورد نظر از هر تیمار (به نسبت ۱۰۰ میلی‌لیتر در هزار (ده درصد) در شرایط محیط طبیعی آزمایشگاه تهیه شد، سپس بذر ارقام سویا بسته به تیمار مورد نظر به مدت ۱۰ دقیقه در محلول مربوطه (تعداد نهایی باکتری‌های مورد نظر ۱×۱۰^{۹} CFU/ml بود) قرار گرفت و سپس تا زمان خشک شدن کامل در آون ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ تا ۶ ساعت قرار داده شد (Sharifi *et al.*, 2010). در نهایت بذور تلقیح شده توسط باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه قبل از کاشت توسط باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن (*Bradyrhizobium japonicum*) به‌طور یکنواخت تلقیح و بلافاصله در عمق ۴ تا ۵ سانتی‌متری خاک با دست کاشته شد.

آبیاری به روش نشتی و مطابق نیاز گیاه هر ۷ روز یکبار تا زمان اجرای تیمارهای قطع آبیاری انجام گرفت. لازم به ذکر است که در تیمار شرایط مطلوب رطوبتی آبیاری تا انتهای دوره رشد گیاه به‌طور منظم هر ۷ روز یکبار انجام شد. در تیمارهای قطع آبیاری از مرحله اواسط تشکیل غلاف تا انتهای دوره رشد و قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه‌ها تا انتهای دوره رشد نیز تا شروع مرحله مذکور، آبیاری کرت‌ها هر ۷ روز یکبار صورت گرفت و از آن به بعد بسته به نوع تیمار آبیاری، تا انتهای دوره رشد گیاه آبیاری قطع گردید. همچنین در اوایل دوره رشد سویا برای مبارزه با کرم برگ‌خوار از سم آوانت و از سم سوپر گالانت برای علف‌های هرز باریک برگ استفاده شد و از روش مکانیکی و وجین دستی نیز جهت کنترل علف‌های هرز پهن برگ استفاده شد.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، زمانی که حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد از غلاف‌ها کاملاً به زرد مایل به قهوه‌ای تغییر رنگ داده بودند و تمامی اندام‌های هوایی زرد رنگ بودند، جهت برداشت نهایی یک و نیم متر مربع وسط کرت‌ها با رعایت اصول حاشیه به‌صورت کف‌بر برداشت شد. تاریخ نمونه‌برداری نهایی برای تیمارهای قطع آبیاری از مرحله اواسط تشکیل غلاف تا انتهای دوره رشد، قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه‌ها تا انتهای دوره رشد و آبیاری کامل در تمام طول فصل رشد به‌ترتیب ۶، ۲۲ و ۲۸ شهریور ماه بود. در ضمن ارقام مختلف از نظر تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک با یکدیگر تفاوت نداشتند. سپس عملکرد وزن خشک کل، عملکرد دانه و وزن هزار دانه پس از خشک شدن نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون به مدت ۷۲ ساعت اندازه‌گیری شد. تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف نیز از طریق شمارش مشخص شد. همچنین به‌منظور اندازه‌گیری درصد پروتئین ابتدا میزان نیتروژن موجود در دانه سویا در انتهای دوره رشد توسط دستگاه کجلدال و به روش هضم تر (Emami, 1996) اندازه‌گیری شد و میزان نیتروژن به‌دست آمده در عدد ۶/۲۵ ضرب گردید تا درصد پروتئین دانه به‌دست آید (Morrison, 1956). برای اندازه‌گیری درصد روغن دانه نیز از روش فلوچ استفاده گردید (Folch *et al.*, 1957). تجزیه و تحلیل داده‌های مستخرج از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت. همچنین جهت تجزیه تکمیلی و فهم دقیق‌تر پاسخ فاکتورهای فرعی در هر سطح از فاکتورهای اصلی و برهم‌کنش آنها از روش برش‌دهی اثرات متقابل در محیط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

تعداد غلاف در بوته

نتایج آزمایش نشان داد که تنها اثر ساده تیمار آبیاری بر تعداد غلاف در بوته سویا در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). صرف‌نظر از سایر تیمارها، با کاهش سطوح آّبیاری، تعداد غلاف در بوته کاهش یافت، به‌طوری‌که به‌ترتیب با کاهش میزان آب آبیاری از آبیاری کامل به قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف، با ۵/۷۱ و ۱۸/۰۱ درصد کاهش، تعداد غلاف در بوته از ۳۰/۹۷ به ۲۹/۲۰ و ۲۵/۳۹ غلاف در بوته رسید (جدول ۴). به نظر می‌رسد کاهش تعداد غلاف در بوته به‌ویژه در تیمار قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف نسبت به تیمار قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه به دلیل عقیمی و ریزش تعداد زیادی از گل‌ها در اثر تنش خشکی باشد که نشان‌دهنده حساسیت گیاه به کم‌آبی در این مرحله است. مقدم خمسه و همکاران (Moghaddam Khamseh *et al.*, 2012) دریافتند که تنش کمبود رطوبت از طریق افزایش رقابت اندام‌های رویشی با زایشی در مرحله نمو زایشی سویا سبب کاهش تعداد غلاف در بوته شد. رستم زاده کلیبر و همکاران (Rostamzadeh Kaleybar *et al.*, 2012) نیز در تحقیقی در شرایط آب و هوایی دشت مغان گزارش کرد که تنش خشکی منجر به کاهش تعداد غلاف ارقام سویا شد. عبدی پور و همکاران (Abdipour *et al.*, 2010) نیز نشان دادند که تاثیر تنش خشکی بر کاهش تعداد غلاف سویا معنی‌دار بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی ارقام سویا تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری، کاربرد سویه‌های مختلف باکتری و برهم‌کنش آنها

Table 2- Analysis of variance for evaluated traits of soybean cultivars affected by irrigation regimes, PGPR and their interaction

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares						
		تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	وزن خشک کل Total dry weight	درصد روغن Oil percentage	درصد پروتئین Protein percentage
Block بلوک	2	10.6 ns	0.1 ns	58.6*	344.8 *	368.5 ns	4.3 ns	6.6
رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	2	219.6**	2.1**	10057.1**	338581.8 **	322006.9 **	121.1 **	631.2 **
خطای بلوک × رژیم‌های آبیاری Block × Irrigation regimes error	4	23.9	0.1	88.7	774.1**	8940.8	2.3	12.6
Bacteria باکتری	2	4.7 ns	0.1**	1696.9 **	10475.4 **	38613.9 **	53.8 **	147.5 **
Cultivar رقم	2	11.1 ns	0.1 ns	89.3 *	1301.1 **	10488.6 **	55.8 **	215.4 **
رژیم‌های آبیاری × باکتری Bacteria × Irrigation regimes	4	15.7 ns	0.1 ns	103.1**	1361.7 **	11495.1 **	5.8 ns	67.2 **
آبیاری × رقم رژیم‌های Cultivar × Irrigation regimes	4	11.2 ns	0.1 ns	23.8 ns	63.4 ns	115.2 ns	1.3 ns	32.7 ns
رقم × باکتری Bacteria × Cultivar	4	9.9 ns	0.1 ns	16.4 ns	50.8 ns	547.2 ns	1.1 ns	12.1 ns
رژیم‌های آبیاری × باکتری × رقم Cultivar × Irrigation regimes× Bacteria	8	9.1 ns	0.1 ns	34.7 ns	65.9 ns	852.2 ns	1.9 ns	28.5 ns
Error خطای آزمایش	48							
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variance		9.9	9.9	14.1	14.3	13.5	9.4	6.8

* و ** : به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد؛ ns: غیر معنی‌دار

* and ** are significant difference at the 5 and 1% probability levels, respectively and ns is non-significant difference

جدول ۳- برش¬دهی برهم‌کنش کاربرد سویه¬های باکتری در هر سطح رژیم آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی سویا

Table 3- Interactions slicing of bacteria application in every level of irrigation regimes on qualitative and quantitative yield of soybean

رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
		وزن هزار دانه 1000- seed weight	عملکرد دانه Seed yield weight	وزن خشک کل Total dry weight	درصد روغن Oil percentage	درصد پروتئین Protein percentage
آبیاری مطلوب Optimum irrigation	2	180.1 **	1219.9 **	130.3 ns	5.4 *	14.8 ns
قطع آبیاری از پر شدن دانه Water deficit stress from seed filling	2	1076.1 **	10285.0 **	49128.0 **	16.8 **	91.2 **
قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف Water deficit stress from mid pod	2	646.9 **	1693.4 **	12346.0 **	7.5 **	8.8 ns

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد؛ ns: غیر معنی‌دار

* and ** are significant difference at the 5 and 1% probability levels, respectively and ns is non-significant difference.

جدول ٤- اثر سطوح آبیاری، کاربرد سویه‌های باکتری و رقم بر برخی عملکرد کمی و کیفی ارقام سویا

Table 4- Effect of irrigation regimes, PGPR application and cultivar on qualitative and quantitative yield of soybean cultivars

	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($g\ m^{-2}$)	وزن خشک کل Total dry weight ($g\ m^{-2}$)	درصد روغن Oil percentage	درصد پروتئین Protein percentage
رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes							
آبیاری مطلوب Optimum irrigation	30.9	1.8	132.9	373.3	1080.3	21.1	32.1
قطع آبیاری از پر شدن دانه Water deficit stress from seed filling	29.2	1.5	117.3	247.2	944.3	19.1	28.4
قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف Water deficit stress from mid pod	25.4	1.3	94.6	149.9	864.2	16.8	22.4
LSD: 0.05	3.70	0.16	7.12	21.02	71.45	0.57	1.34
باکتری Bacteria							
باکتری *لیکنی‌فورمیس* *B. licheniformis*	28.1	1.6	119.7	268.7	997.0	19.8	29.1
باکتری *سوبتیلیس* *B. subtilis*	28.7	1.5	119.4	267.8	969.5	19.2	27.9
بدون باکتری No bacteria	28.8	1.5	105.8	234.1	922.3	17.8	25.9
LSD: 0.05	1.55	0.08	2.53	6.01	18.33	0.66	1.03
ارقام Cultivars							
TMS	28.5	1.5	116.3	264.1	979. 8	19.9	29.6
M9	27.9	1.6	115.8	256.3	967.7	18.9	27.8
کوثر Kosar	29.2	1.5	112.9	250.3	941.3	17.9	25.7
LSD: 0.05	1.55	0.08	2.53	6.01	18.33	0.66	1.03

تعداد دانه در غلاف

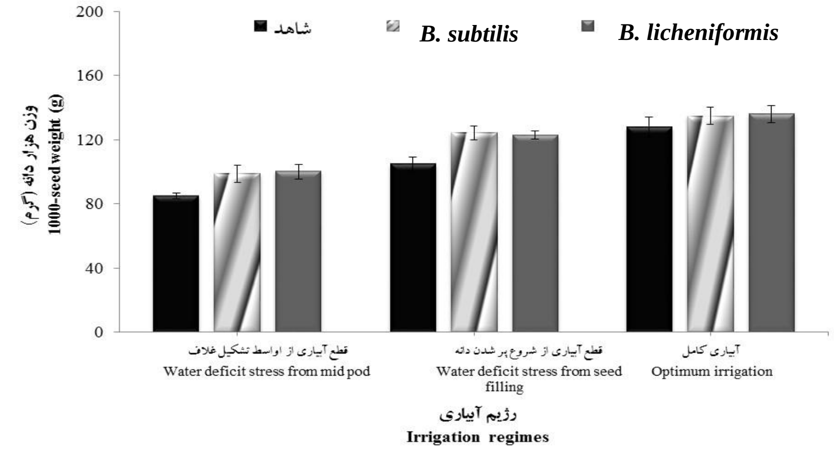
اثر ساده تیمار آبیاری و تلقیح باکتری بر تعداد دانه در غلاف در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). صرف‌نظر از سایر تیمارها، با کاهش سطوح آبیاری، تعداد دانه در غلاف کاهش یافت، به گونه‌ای که با کاهش میزان آبیاری از آبیاری کامل به قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف، تعداد دانه در غلاف

به‌ترتیب با ۱۹/۴۵ و ۳۰/۲۷ درصد کاهش از ۱/۸۵ به ۱/۴۹ و ۱/۲۹ دانه در غلاف رسید (جدول ۴). همچنین بیشترین تعداد دانه در غلاف در تیمار تلقیح بذور با باکتری *لیکنی فورمیس* و کمترین تعداد دانه در غلاف در تیمار بدون باکتری مشاهده شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد تنش کمبود رطوبت از طریق اثر بر ویژگی‌های فتوسنتزی سویا و کاهش بذور لقاح یافته به‌ویژه در تیمار تنش کمبود آب از مرحله نموی اواسط تشکیل غلاف، به علت اثر بر فرآیند لقاح و تشکیل بذر، منجر به کاهش تعداد دانه در غلاف گردید (Mertz-Henning *et al.*, 2018). سیدی و سید شریفی (Seiedi and Seyed Sharifi, 2013) گزارش کردند بیشترین تعداد دانه در غلاف سویا در تیمار تلقیح با باکتری ریزوبیوم مشاهده شد. به نظر می‌رسد همزیستی ریشه سویا با باکتری‌های تقویت‌کننده رشد از طریق بهبود عمق نفوذ و گسترش ریشه‌ها در خاک و درنتیجه دسترسی بیشتر به رطوبت به‌ویژه رطوبت بخش‌هایی از خاک که توسط ریشه گیاهان تلقیح نشده غیر قابل استفاده باشد، ممکن است باعث افزایش تحمل به تنش شود. بشارتی و همکاران (Besharati *et al.*, 2017) در تحقیق خود نشان دادند که باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد باعث بهبود تعداد غلاف در بوته سویا نسبت به شاهد (بدون باکتری) شد.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمار آبیاری (در سطح یک درصد)، باکتری (در سطح یک درصد)، رقم(در سطح پنج درصد) و برهم‌کنش آبیاری در باکتری (در سطح یک درصد) بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۲)، به گونه‌ای که با کاهش سطوح آبیاری، وزن هزار دانه کاهش یافت این در حالی بود که در شرایط تیمار تلقیح باکتری نسبت به عدم تلقیح وزن هزار دانه ارقام مختلف سویا افزایش یافت داشت.

نتایج برش‌دهی برهم‌کنش کاربرد سویه‌های مختلف باکتری در هر سطح رژیم آبیاری نشان از تغییرات معنی‌دار وزن هزار دانه در کلیه سطوح آبیاری داشت (جدول ۳). در تیمار آبیاری کامل، سطح بدون باکتری (۱۲۷/۸۸ گرم) نسبت به تلقیح با باکتری‌های *لیکنی فورمیس* (۱۳۶/۲۴ گرم) و *سوبتیلیس* (۱۳۴/۸۳ گرم) به‌ترتیب، ۶/۱۳ و ۱/۰۳ درصد وزن هزار دانه کمتری داشت (شکل ۱). در تیمار قطع آبیاری قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف، سطح بدون باکتری (۸۴/۸ گرم) نسبت به تلقیح با باکتری‌های *لیکنی فورمیس* (۱۰۰/۲ گرم) و *سوبتیلیس* (۹۸/۸۱ گرم) به‌ترتیب، ۱۵/۴ و ۱۴/۲ درصد وزن هزار دانه کمتری داشت (شکل ۱). در تیمار قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه، سطح بدون باکتری (۱۰۴/۷ گرم) نسبت به تلقیح با باکتری‌های *لیکنی فورمیس* (۱۲۲/۸ گرم) و *سوبتیلیس* (۱۲۴/۴ گرم) به‌ترتیب، ۱۴/۷ و ۱۵/۸ درصد وزن هزار دانه کمتری داشت (شکل ۱). به نظر می‌رسد علت بالاتر بودن وزن هزار دانه در تیمارهای تلقیح باکتری و آبیاری کامل، نقش مکملی باکتری در فراهمی نیتروژن و همچنین عدم تنش خشکی در مرحله حساس تشکیل غلاف و پر شدن دانه باشد. چرا که تنش در این مرحله با تاثیر بر تولید ترکیبات فتوسنتزی و انتقال آنها به سمت اندام‌های زایشی گیاه می‌تواند وزن هزار دانه را کاهش دهد (Mertz-Henning *et al.*, 2018). در تنش خشکی در مرحله تشکیل غلاف و پر شدن دانه به دلیل کاهش فتوسنتز و کمبود مواد فتوسنتزی و همچنین کوتاه شدن دوره پر شدن دانه، انتقال مواد فتوسنتزی کاهش می‌یابد و در نتیجه دانه‌ها کوچک می‌شود (Mertz-Henning *et al.*, 2018). نتایج بررسی تنش خشکی در مرحله رشد زایشی بر ارقام سویا نشان داد که تاثیر تنش خشکی بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود، به‌طوری‌که کمترین وزن هزار دانه با ۱۱۱/۴۱ گرم در تیمار اعمال تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه مشاهده شد (Divsalar *et al.*, 2016).



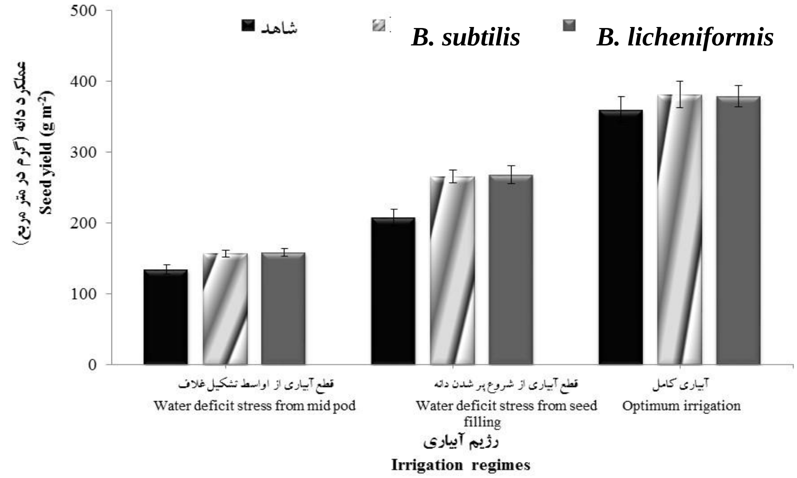
شکل ۱- برهمکنش رژیم‌های آبیاری و کاربرد سویه‌های باکتری بر وزن هزار دانه ارقام سویا. خطوط بار نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) است.

Figure 1- Interaction of irrigation regimes and plant growth-promoting rhizobacteria on 1000- seed weight of soybean cultivars. Error bars show standard error (SE)

عملکرد دانه

اثر ساده تیمارهای آبیاری، باکتری، رقم و برهم‌کنش آبیاری در باکتری بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کاهش آبیاری از سطح آبیاری کامل به قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف به‌ترتیب با ۳۳/۷۷ و ۵۹/۸۲ درصد کاهش، عملکرد دانه سویا را از ۳۷۳/۳۲ گرم در متر مربع به ۲۴۷/۲۳ و ۱۴۹/۹۷ گرم در متر مربع کاهش داد (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه با ۲۶۸/۶۶ گرم در متر مربع در تیمار تلقیح بذور با باکتری *لیکنی فورمیس* و کمترین آن با ۲۳۴/۱۰ گرم در متر مربع در تیمار بدون باکتری مشاهده شد (جدول ۴). در بین ارقام مورد بررسی بالاترین (۲۶۴/۱۵ گرم در متر مربع) و پایین‌ترین (۲۵۰/۳۴ گرم در متر مربع) عملکرد دانه به‌ترتیب به رقم TMS و رقم کوثر متعلق بود (جدول ۴). اختلاف عملکرد در بین ارقام مورد بررسی ممکن است به علت تفاوت در طول دوره رشد آنها باشد زیرا رقم TMS در مقایسه با رقم کوثر از طول دوره رشد کوتاه‌تری برخوردار است که این موضوع سبب می‌شود که در هنگام مواجه شدن با شرایط تنش خشکی انتهای دوره رشد، به دلیل این‌که بیشتر دوره رشد خود را در شرایط مطلوب رطوبتی طی کرده است، از عملکرد بالاتری برخوردار باشد. به نظر می‌رسد ارقام سویا در تیمار آبیاری کامل احتمالاً با برخورداری از شاخص سطح برگ، وزن خشک، کارایی مصرف نور، سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی بالاتر از عملکرد دانه بالاتری نسبت به سایر سطوح آبیاری برخوردار بودند و با کاهش سطح آبیاری و به‌تبع آن کاهش شاخص‌های ذکر شده، عملکرد دانه نیز کاهش یافت. همچنین تلقیح باکتری با تاثیر بر فراهمی نیتروژن بیشتر و افزایش تولید مواد فتوسنتزی (Gupta *et al.*, 2015) می‌تواند باعث بهبود فرایند تولید و افزایش عملکرد دانه شود. اکبری (Akbari, 2012) بیشترین عملکرد دانه سویا را در تیمار آبیاری کامل گزارش کرد و عنوان داشت با قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه عملکرد کاهش یافت. نتایج ارزیابی تحمل تنش خشکی در برخی ارقام سویا نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با ۳۶۳۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری کامل بود و با تنش ملایم و تنش شدید عملکرد دانه نیز کاهش یافت (Vahadi and Gholinezhad, 2015). دیوسالار و همکاران (Divsalar *et al.*, 2016) بیان کردند که قطع آبیاری در مرحله تشکیل غلاف و پر شدن دانه از طریق کاهش ویژگی‌های فتوسنتزی، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه سویا شد.

نتایج برش‌دهی برهم‌کنش کاربرد سویه‌های مختلف باکتری در هر سطح رژیم آبیاری نشان از تغییرات معنی‌دار عملکرد دانه در کلیه سطوح آبیاری داشت (جدول ۳). به نحوی که در تیمار آبیاری کامل، سطح بدون باکتری (۳۵۹/۹۱ گرم در متر مربع) نسبت به تلقیح با باکتری‌های *لیکنی فورمیس* (۳۷۹/۱۷ گرم در متر مربع) و *سوبتیلیس* (۳۸۰/۸۷ گرم در متر مربع) به‌ترتیب ۵/۰۸ و ۵/۵۰ درصد عملکرد دانه کمتری داشت (شکل ۲). در تیمار قطع آبیاری قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف، سطح بدون باکتری (۱۳۴/۲ گرم در متر مربع) نسبت به تلقیح با باکتری‌های *لیکنی فورمیس* (۱۵۸/۸ گرم در متر مربع) و *سوبتیلیس* (۱۵۶/۹ گرمدر متر مربع) به‌ترتیب ۱۵/۴ و ۱۴/۵ درصد عملکرد دانه کمتری داشت (شکل ۲). در تیمار قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه، (۲۰۸/۲ گرم در متر مربع) نسبت به تلقیح با باکتری‌های *لیکنی فورمیس* (۲۶۷/۹ گرم در متر مربع) و *سوبتیلیس* (۲۶۵/۵ گرم در متر مربع) به‌ترتیب ۲۲/۳ و ۲۱/۵ درصد عملکرد دانه کمتری داشت (شکل ۲).



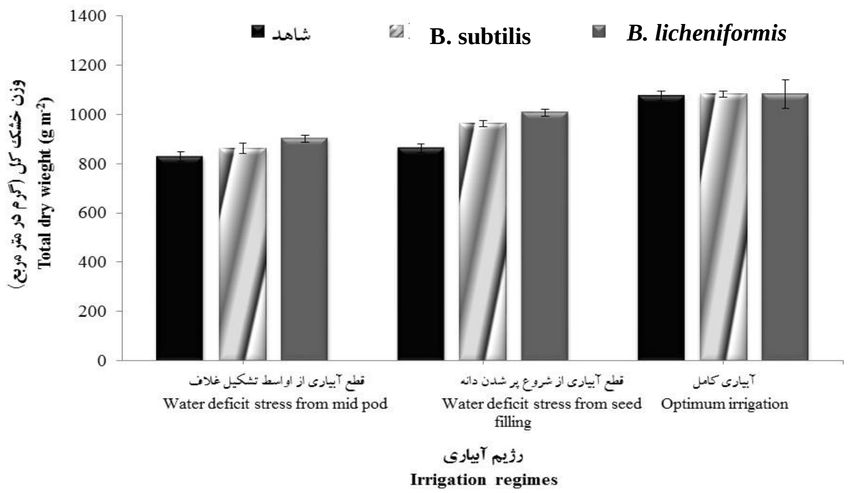
شکل ۲- برهمکنش رژیم‌های آبیاری و کاربرد سویه‌های باکتری بر عملکرد دانه ارقام سویا. خطوط بار نشان دهنده خطای استاندارد (SE) است.

Figure 2- Interaction of irrigation regimes and plant growth-promoting rhizobacteria on seed yield of soybean cultivars. Error bars show standard error (SE)

به نظر می‌رسد علت بالاتر بودن عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح باکتری و آبیاری کامل، احتمالاً نقش مکملی باکتری در فراهمی نیتروژن، بهبود جذب آب توسط ریشه گیاه از طریق افزایش عمق نفوذ و توسعه ریشه، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، اکسیداسون گوگرد و انحلال ترکیبات نامحلول فسفاته از راه ترشح اسیدهای آلی و فسفاتازها (Tilak, 2006) بود که باعث افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش خشکی در مرحله حساس تشکیل غلاف و پر شدن دانه گردید. چرا که تنش در مراحل حساس گیاه با تاثیر بر تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و وزن هزار دانه توانست عملکرد دانه را کاهش دهد. تبسم و همکاران (Tabassum *et al.*, 2017) بیان کردند که باکتری‌هایی مانند *باسیلوس* در ارتقای سلامت رشد گیاهان مفید هستند و تلقیح با این باکتری‌ها به‌طور قابل‌توجهی باعث افزایش رشد گیاهان و کاهش بیماری در گیاهان می‌شود. دباغیان و همکاران (Dabaghian *et al.*, 2015) نشان دادند که کاربرد باکتری‌های همزیست (*ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*) می‌تواند از طریق بهبود تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف باعث بهبود عملکرد دانه سویا نسبت به عدم کاربرد باکتری گردد.

وزن خشک کل

اثر ساده آبیاری، باکتری، رقم و برهم‌کنش آبیاری و باکتری بر وزن خشک کل سویا در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با کاهش سطوح آبیاری از سطح آبیاری کامل به قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف وزن خشک کل کاهش یافت، درصورتی‌که تلقیح بذور با باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه به‌ویژه باکتری *لیکنی فورمیس* منجر به بهبود وزن خشک کل ارقام مختلف سویا شد (جدول ۴). بیشترین (۹۷۹/۸۳ گرم در متر مربع) و کمترین (۹۴۱/۳۴ گرم در متر مربع) وزن خشک کل به‌ترتیب متعلق به رقم TMS و رقم کوثر بود (جدول ۴). نتایج برش‌دهی برهم‌کنش کاربرد سویه‌های مختلف باکتری در هر سطح رژیم آبیاری نشان از تغییرات معنی‌دار عملکرد وزن خشک کل در سطوح قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف داشت (جدول ۳)، در حالی که در شرایط آبیاری کامل میان تیمارهای کاربرد باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳).



شکل ۳- برهم‌کنش رژیم‌های آبیاری و کاربرد سویه‌های باکتری بر وزن خشک کل ارقام سویا. خطوط بار نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) است

Figure 3- Interaction of irrigation regimes and plant growth-promoting rhizobacteria on total dry weigh of soybean cultivars. Error bars show standard error (SE)

نتایج برهمکنش باکتری‌های محرک رشد گیاه در سطوح آبیاری نشان داد که بیشترین عملکرد وزن خشک کل با ۱۰۸۲/۷۹ گرم در متر مربع در تیمار تلقیح با باکتری *سوبتیلیس* و در سطح آبیاری کامل و کمترین عملکرد وزن خشک کل نیز با ۸۲۸/۰۹ گرم در متر مربع در تیمار بدون باکتری (شاهد) و در قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف مشاهده شد (شکل ۳). همچنین برتری تیمار تلقیح با باکتری *سوبتیلیس* و در سطح آبیاری کامل نسبت به به تیمارهای بدون باکتری در سطح آبیاری کامل و تلقیح با باکتری *لیکنی فورمیس* در سطح آبیاری کامل از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (شکل ۳). به نظر می‌رسد افت وزن خشک کل سویا در شرایط تنش کمبود آب در تیمار آبیاری کامل نسبت به تیمارهای قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف به دلیل کاهش مقدار تولید مواد فتوسنتزی از طریق کاهش شاخص سطح برگ و بافت‌های فتوسنتزکننده و همچنین تاثیر منفی بر اجزای عملکرد سویا باشد. پرکامهنگ و همکاران (Prakamhang *et al.*, 2014) نشان دادند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد *Bradyrhizobium diazoefficiens* می‌تواند باعث بهبود عملکرد و تعداد گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن شود و از این طریق باعث کاهش میزان نیتروژن

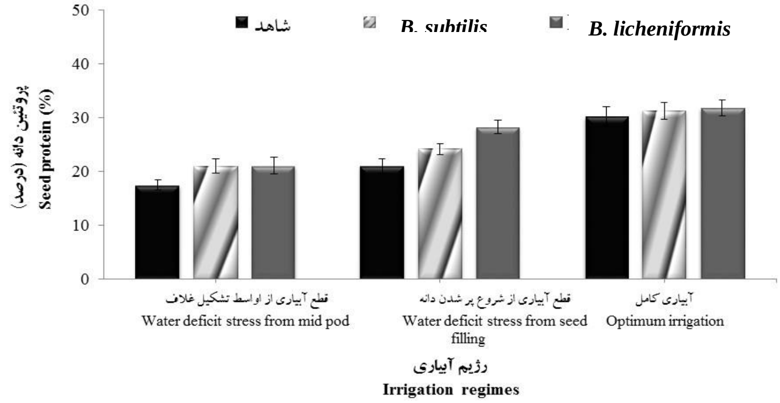
مصرف شده در مزرعه سویا شود. سوزا و همکاران (Souza *et al.*, 2015) بیان کردند که باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش عملکرد گیاهان زراعی، کاهش مخاطرات زیست‌محیطی و کاهش هزینه تولید می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر مشخص گردید که تلقیح سویا با باکتری‌های سودوموناس از طریق افزایش گره‌زایی منجر به بهبود عملکرد شد (Chebotar *et al.*, 2001). سیندو و همکاران (Sindhu *et al.*, 2002) نیز افزایش گره و رشد گیاه ماش در اثر تلقیح باکتری باسیلوس را گزارش کردند.

درصد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری، باکتری و رقم بر درصد روغن سویا در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). صرف‌نظر از سایر تیمارها با کاهش سطوح آبیاری، درصد روغن کاهش یافت به گونه‌ای که درصد روغن با کاهش سطوح آبیاری از سطح آبیاری کامل به قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف، با ۹/۵۶ و ۲۰/۱۲ درصد کاهش، از ۲۱/۰۲ به ۱۹/۰۱ و ۱۶/۷۹ درصد رسید (جدول ۴). صرف‌نظر از تیمار آبیاری، تلقیح باکتری نسبت به عدم تلقیح درصد روغن بیشتری داشت، به نحوی که بیشترین درصد روغن با ۱۹/۷۸ درصد در تیمار تلقیح بذور با باکتری *لیکنی فورمیس* مشاهده شد و کمترین آن با ۱۷/۸۴ درصد در تیمار بدون باکتری مشاهده شد (جدول ۴). در بین ارقام مورد بررسی نیز رقم TMS با ۱۹/۶۶ درصد روغن، بالاترین و رقم کوثر با ۱۷/۹۲ درصد روغن، کمترین درصد روغن را در بین ارقام داشت (جدول ۴). به نظر می‌رسد در شرایط تنش کمبود رطوبت، کاهش طول دوره رشد گیاه به‌ویژه در مراحل نموی حساس تشکیل غلاف و پر شدن دانه از طریق کاهش طول دوره فتوسنتز جاری و تشکیل ترکیبات روغنی منجر به کاهش درصد روغن دانه شود (Ghassemi-Golezani and Lotfi, 2012). دیوسالار و همکاران (Divsalar *et al.*, 2016) نشان دادند که اثر تیمار تنش خشکی بر درصد روغن دانه سویا معنی‌دار بود و بذرهای حاصل از تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه کمترین درصد روغن دانه (۱۸/۲۵ درصد) را داشتند. محسنی و همکاران (Mohseni *et al.*, 2016) نشان داد که بیشترین میزان روغن با ۱۷/۳۴ درصد در تیمار تلقیح بذور با باکتری *Bradyrhizobium japonicum* بود و میان ارقام مورد بررسی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

درصد پروتئین

اثر ساده آبیاری، باکتری، رقم و برهم‌کنش آبیاری در باکتری بر درصد پروتئین دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲)، به‌طوری‌که با کاهش سطوح آبیاری از سطح آبیاری کامل به قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه و قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف درصد پروتئین دانه کاهش یافت (جدول ۴) ولی تیمار تلقیح باکتری نسبت به عدم تیمار تلقیح درصد پروتئین بیشتری داشت (جدول ۴) که این تفاوت‌ها در بین ارقام مورد بررسی متفاوت بود (جدول ۴). نتایج برش‌دهی برهم‌کنش کاربرد سویه‌های مختلف باکتری در هر سطح رژیم آبیاری نشان از تغییرات معنی‌دار درصد پروتئین در قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه داشت (جدول ۳). بیشترین میزان پروتئین با ۳۳/۱۶ درصد در تیمار آبیاری کامل به همراه تلقیح بذور با باکتری *لیکنی فورمیس* و کمترین میزان پروتئین نیز با ۲۱/۴۴ درصد در تیمار قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف و بدون باکتری مشاهده شد (شکل ۴). در شرایط تیمار کمبود رطوبت، کاهش میزان آب قابل استفاده گیاه در خاک با تاثیر بر فعالیت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و دیگر خصوصیات گیاهی، باعث کاهش مقدار پروتئین دانه شد (Mertz-Henning *et al.*, 2018). به نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی کاربرد باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه ممکن است از طریق بهبود جذب آب توسط ریشه باعث بهبود فعالیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط باکتری‌های همزیست با ریشه گیاه شده و در نهایت این موضوع سبب افزایش درصد پروتئین دانه سویا شد.



شکل ٤- برهم‌کنش رژیم‌های آبیاری و کاربرد سویه‌های باکتری بر پروتئین دانه ارقام سویا. خطوط بار نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) است

Figure 4- Interaction of irrigation regimes and plant growth-promoting rhizobacteria on seed protein of soybean cultivars. Error bars show standard error (SE)

به نظر می‌رسد در شرایط تیمار قطع آبیاری از اواسط دوره تشکیل غلاف و عدم تلقیح باکتری، تنش شدید رطوبت منجر به جلوگیری از جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن توسط سیستم ریشه سویا شد و تحت این شرایط کمبود محتوی نیتروژن درون گیاه باعث کاهش میزان پروتئین دانه گردید. همان‌طور که از شکل ۴ پیداست، در شرایط تیمارهای قطع آبیاری از مرحله اواسط تشکیل غلاف و قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه، تلقیح باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه به‌ویژه در شرایط تنش ملایم منجر به کاهش تاثیر تنش خشکی شد و از این طریق باعث به بهبود پروتئین دانه شد. به نظر می‌رسد که باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه از طریق بهبود رشد رویشی و افزایش عمق توسعه ریشه سویا و بهبود سطح تماس ریشه با ذرات خاک، باعث افزایش جذب نیتروژن و همچنین از طریق بهبود شرایط رشد گیاه به باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن یاری‌رسانی کرده که مجموع این برهم‌کنش‌ها منجر به افزایش محتوی نیتروژن گیاه و درنتیجه میزان پروتئین دانه شده است. شیری جناقرد و راعی (Shiri-Jenaqrd and Raei, 2014) دریافتند که کاربرد باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه (*B. japonicum*) از طریق بهبود فعالیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن منجر به بهبود درصد پروتئین دانه سویا شد. افزایش درصد پروتئین دانه نخود نیز در شرایط کاربرد باکتری محرک رشد *Bacillus* به علت دسترسی بیشتر به فسفر قابل جذب خاک توسط گیاه گزارش شده است (Elkoca *et al.*, 2008).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که تنش کمبود رطوبت منجر به کاهش عملکرد و اجزای عملکرد سویا شد. بیشترین کاهش در تیمار قطع آبیاری از اواسط تشکیل غلاف مشاهده شد. کاربرد سویه‌های باکتری تقویت‌کننده رشد گیاه منجر به بهبود صفات تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، وزن خشک کل، درصد روغن و درصد پروتئین گردید. بیشترین تعداد دانه در غلاف (۱/۶)، وزن هزار دانه (۱۱۹/۷ گرم)، عملکرد دانه (۲۶۸/۷ گرم در متر مربع)، وزن خشک کل (۹۹۷/۱ گرم در متر مربع)، درصد روغن (۱۹/۸ درصد) و درصد پروتئین (۲۹/۲ درصد) در تیمار تلقیح با باکتری *لیکنی فورمیس* مشاهده شد. در بین ارقام مورد برررسی نیز رقم TMS بیشترین وزن هزار دانه (۱۱۶/۳ گرم)، عملکرد دانه (۲۶۴/۱ گرم در متر مربع)، وزن خشک کل (۹۷۹/۸ گرم در متر مربع)، درصد روغن (۱۹/۹ درصد) و درصد پروتئین (۲۹/۶ درصد) را داشت و کمترین این صفات نیز در رقم کوثر مشاهده شد.

همچنین نتایج برهم‌کنش تیمارهای مورد بررسی نشان داد که تنها اثر متقابل آبیاری و کاربرد باکتری بر صفات وزن هزار دانه، عملکرد دانه، وزن خشک کل، درصد روغن و درصد پروتئین معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه (۳۸۰/۹ گرم در متر مربع) و وزن خشک کل (۱۰۸۲/۸ گرم در متر مربع) در تیمار آبیاری کامل به همراه تلقیح با باکتری *سوبتیلیس* و بیشترین وزن هزار دانه (۱۳۶/۲ گرم) و درصد پروتئین (۳۳/۲ درصد) نیز در تیمار آبیاری کامل به همراه تلقیح با باکتری *لیکنی فورمیس* مشاهده شد. کاربرد باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه در شرایط تیمار قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه‌ها تا انتهای دوره رشد در مقایسه با تیمار قطع آبیاری از مرحله پایان تشکیل غلاف تا انتهای دوره رشد، عملکرد دانه سویا را بیشتر تحت تاثیر قرار داد. تاثیر باکتری *لیکنی مورفیس* در مقایسه با باکتری *سوبتیلیس* در بهبود برخی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده به‌ویژه در شرایط تیمار قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه تا انتهای دوره رشد سویا بیشتر بود.

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد باکتری‌های محرک رشد سویا تاحدودی باعث افزایش تحمل به تنش کمبود آب به‌ویژه تنش کمبود آب ملایم گردید. بنابراین پیشنهاد می‌شود، در صورت تایید نتایج این تحقیق در مناطق دیگر، در مزارعی که کشاورزان با کمبود آب آبیاری مواجه هستند از باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه به‌منظور تعدیل اثرات تنش کمبود آب استفاده شود. این موضوع می‌تواند از طریق تحقیق بر روش‌های مختلف تلقیح باکتری با بذر و همچنین شرایط نگهداری بذور تلقیح‌یافته، به گونه‌ای که توسط کشاورز و در شرایط محیطی مختلف بدون آسیب رسیدن به باکتری‌های تقویت‌کننده رشد گیاه، مورد کاربرد واقع شود.

References

1. Abdipour, M., Rezaei, A., Hooshmandand, S., and Raeis. F. 2010. Effect of drought stress on yield and yield components of determinate soybean (*Glycine max* (L) Merrill). Journal of Agricultural Science 4: 1-14. (In Persian with English Abstract).
2. Akbari, D. 2012. Effect of drought stress at different growth stages on soybean yield and water use efficiency in Mazandaran. Agricultural Science and Sustainable Production 22: 13-23. (in Persian with English abstract).
3. Besharati, H., Pashapour, S., and Rezazadeh, M. 2017. The evaluation of plant growth promoting rhizobacteria effect for improving soybean growth indices. Iranian Journal of Field Crops Research 47: 671-687. (in Persian with English abstract).

4. Biglouei, M. H., Kafi Ghasemi, A., Javaher Dashti, M., and Esfahani, M. 2013. Effect of irrigation regimes on yield and quality of forage maize (KSC 704) in Rasht region in Iran. Iranian Journal of Crop Science 3: 196-206. (in Persian with English abstract).
5. Brevedan, R. E., and Egli, D. B. 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. Crop Science 43: 2083-2088.
6. Brown, E. A., Caviness C. E., and Brown, D. A. 1985. Response of soybean cultivars to soil moisture deficit. Agronomy Journal 77: 274-278.
7. Chebotar, V. K., Asis, C. A., and Asao, S. 2001. Production of growth-promoting substances and high colonization ability of rhizobacteria enhance the nitrogen fixation of soybean when inoculated with *Bradyrhizobium japonicum*. Biology and Fertility of Soils 4: 427-432.
8. Chibeba, A. M., de Fátima Guimarães, M., Brito, O. R., Nogueira, M. A., Araujo, R. S., and Hungria, M. 2015. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. American Journal of Plant Sciences 6: 1641-1649.
9. Dabaghian, Z., Pirdashti, H., Abasian, A., and Bahari Saravi, S. H. 2015. The effect of *biofertilizers*, *Thiobacillus*, *Azotobacter*, *Azospirillum* and organic sulfur on nodulation process and yield of soybean (*Glycine Max* L. Merr.). Applied Field Crop Research 107: 17-25. (in Persian with English abstract).
10. Dey, R., Pal, K. K., Bhatt, D. M., and Chauhan, S. M. 2004. Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria. Microbiological Research 159: 371-94.
11. Divsalar, M., Tahmasbi-Sarvestani, Z., Mohammad Modares Sanavi, A., and Hamidi, A. 2016. The evaluation of drought stress impact as irrigation withholding at reproductive stages on quantitative and qualitative performance of soybean cultivars. Agricultural Crop Management 18: 481-493. (in Persian with English abstract).
12. Elkoca, E., Kantar, F., and Sahin, F. 2008. Influence of nitrogen fixing and phosphorus solubilizing bacteria on the nodulation, plant growth, and yield of chickpea. Journal of Plant Nutrition 31: 157-171.
13. Emami, A. 1996. Plant Analysis Methods. Iranian Plant and Water Research Center, No. 928. (in Persian).
14. Folch, J., Less, M., and Stone Stanley, G. H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. Journal of Biological Chemistry 226: 497-508.
15. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database. 2017. FAOSTAT Production Statistics of Crops. Available at: http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E.
16. Ghassemi-Golezani, K., and Lotfi, R. 2012. Response of soybean cultivars to water stress at reproductive stages. International Journal of Plant, Animal and Environmental Science 2: 198-202.
17. Glick, B. R. 1995. The enhancement of plant growth by free living bacteria. Canadian Journal of Microbiology 41: 109-117.
18. Gupta, G., Parihar, S., Ahirwar, N. K., and Snehi, S. K. 2015. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): Current and Future Prospects for Development of Sustainable Agriculture. Microbial & Biochemical Technology 7: 96-102.
19. Habibi, D. 2015. Effect of plant growth promoting rhizobacteria, foliar application of amino acids and silicic acid on yield and yield components of wheat under drought stress. New Finding in Agriculture 9: 89-104. (in Persian with English abstract).
20. Hokmalipour, S. 2017. Evaluate the effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and nitrogen fertilizer on yield and some agronomic and physiological traits of medicinal plant of Peppermint (*Mentha piperita* L.). Journal of Plant Ecophysiology 9: 133-144. (in Persian with English abstract).
21. Khademhamzeh, H. R., Karimie, M., Rezaie, A., and Ahmadie, M. 2004. Effect of plant density and planting date on agronomic characteristics, yield and yield components in soybean. Iranian Journal of Agricultural Science 35: 357-367. (in Persian with English abstract).
22. Khan, A. G. 2005. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 18: 355-64.
23. Jeon, J. S., Lee, S. S., Kim, H. Y., Ahn, T. S., and Song, H. G. 2003. Plant growth promotion in soil by some inoculated microorganisms. Journal of Microbiology 41: 271-76.
24. Mehrabadi, H. R., Nezami, A., Kafi, M., and Ahmadifard, M. 2016. Survey of the Effect of different irrigation levels on yield and yield components of sensitive and tolerant cotton cultivars. Journal of Water and Soil 6: 1415-1425. (in Persian with English abstract).
25. Mertz-Henning, L. M., Ferreira, L. C., Henning, F. A., Mandarino, J. M. G., Santos, E. D., Oliveira, M. C. N. D., Nepomuceno, A. L., Farias, J. R. B., and Neumaier, N. 2018. Effect of water deficit-induced at vegetative and reproductive stages on protein and oil content in soybean grains. Agronomy 8: 1-11.
26. Moghaddam Khamseh, A., Daneshian, J., Amini Dehghi, M., Jabbari, H., and Modarres Sanavy, S. A. M. 2012. Effect of plant density and water deficit on the growth, yield and yield component of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). Journal of Agronomy Science 4: 27-40.

27. Mohseni, A. R., Khajoinejad, G. R., and Mohammadinejad, G. 2015. Yield and yield components reaction of soybean cultivars to inoculation by *Bradyrhizobium Japonicum* bacteria and nitrogen. Journal of Plant Production Research 22: 73-88. (in Persian with English abstract).
28. Morrison, F. B. 1956. Feeds and feeding. 22th edn. The Morrison Publishing Company, Ithaca, New York. USA.
29. Prakamhang, J., Tittabutr, P., Boonkerd, N., Teamtisong, K., Uchiumi, T., Abe, M., and Teaumroong, N. 2015. Proposed some interactions at molecular level of PGPR inoculated with *Bradyrhizobium diazoefficiens* USDA110 and *B. Japonicum* THA6 on soybean symbiosis and its potential of field application. Applied Soil Ecology 85: 38-49.
30. Rostamzadeh Kaleybar, M., Farboodi, M. Hoseinzadeh Moghbeli, A. H., and Razmi, N. 2012. The effects of irrigation regimes on second cropping of three soybean genotypes in Moghan region. Journal of Crop and Weed Ecophysiology 5: 15-28. (in Persian with English abstract).
31. Ruzzi, M., and Aroca, R. 2015. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulture 196: 124-134.
32. Seiedi, M. N., and Seyed Sharifi, R. 2013. The effects of seed inoculation with rhizobium and nitrogen application on yield and some agronomic characteristics of Soybean (*Glycine max* L.) under Ardabil condition. Iranian Field Crop Research 11: 618-628. (in Persian with English abstract).
33. Seyed-Sharifi, R., Lotfollah, F., and Kamari, H. 2016. Evaluation of effects of *Azotobacter*, *Azospirillum* and *Psedomunas* inoculation and spraying of nitrogen on fertilizer use efficiency and growth of Triticale. Journal of Soil Management and Sustainable 5: 115-132. (in Persian with English abstract).
34. Sharifi, R., Ahmadzadeh, M., Sharifi-Tehrani, A., and Talebi-Jahromi, K. 2010. Pyoverdine production in Pseudomonas fluorescens UTPF5 and its association with suppression of common bean damping off caused by *Rhizoctonia solani* (Kuhn). Journal of Plant Protection Research 50: 72-78.
35. Shiri-Jenaqrd, M., and Raei, Y. 2014. Effect of growth-promoting bacteria on soybean nodulation and its oil and protein yields. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 24: 69-82.
36. Sindhu, S. S., Suneja, S., Goel, A. K., Parmer, N. K., and Dadarwal, R. 2002. Plant growth promoting effects of Pseudomonas sp. on co inoculation with *Mesorhizobium* sp. Cicer strain under sterile and wilt sick soil conditions. Applied Soil Ecology 19: 57-64.
37. Souza, R. D., Ambrosini, A., and Passaglia, L. M. 2015. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. Genetics and Molecular Biology 38: 401-419.
38. Tabassum, B., Khan, A., Tariq, M., Ramzan, M., Khan, M. S. I., Shahid, N., and Aaliya, K. 2017. Bottlenecks in commercialization and future prospects of PGPR. Applied Soil Ecology 121: 102-117.
39. Vahadi, N., and Gholinezhad, E. 2015. Evaluation of Drought Tolerance of Some Soybean Cultivars. Journal of Water Research in Agriculture 29: 1-9. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 4, Winter. 2020, p. 537-550

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص. ۵۵۰-۵۳۷

Effect of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Yield, Yield Components and Qualitative Traits of Soybean Cultivars (*Glycine max*) in Different Irrigation Regimes

F. Mondani[1*], K. Khani[2], S. Jalali Honarmand[3], M. Saeedi[4]

Received: 17-07-2018
Accepted: 10-03-2019

Introduction

In recent decades, sustainable agricultural management, protection of soil living organism's community and the efforts to use biological solutions for plant nutrition and society health has been considered. Among soil microorganisms, plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) are the most promising, including all bacteria inhabiting the rhizosphere and the rhizoplane, which able to stimulate plant growth and yield. The modes of action of PGPR are clearly diverse and not all bacteria possess the same mechanisms. These mechanisms vary from changes in hormonal content, production of volatile compounds, increasing of nutrient availability and enhance abiotic stress tolerance such as the water deficit stress. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the effects of the PGPR on the yield and yield components of soybean under different irrigation regimes.

Materials and Methods

The field experiment was conducted during 2016 at the research farm of Razi University, Kermanshah, Iran (34°, 19´ N, 47°, 50´ E and altitude 1320 m). A split plot factorial experiment was conducted based on Randomized Complete Block Design (RCBD). Main plots had three irrigation regimes in which irrigation was cut based on the soybean stages (I_1: water deficit stress from mid pod development stage to maturity stage; I_2: water deficit stress from seed filling development stage to maturity stage; and I_3: optimum irrigation in all development stages) and sub-plots were composed of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) (B_1: no bacteria; B_2: *Bacillus subtilis*; and B: *Bacillus licheniformis*) and soybean cultivar (TMS, M9 and Kosar). The experimental plots were irrigated based on furrow method. I3 treatment were irrigated every 7 days until the end of the growing period while in the I1 and I2 treatments, the plots were irrigated every 7 days until the start of the water deficit stress. In order to inoculate with the PGPR, the soybean seeds were plunged in a 1:10 (V:V) solution of liquid culture and distilled water respectively, for 10 minutes. All seeds were oven-dried at 30° C for 5 h. Finally, the seeds by PGPR were inoculated by *Bradyrhizobium japonicum* before sowing and cultivated immediately at 4 to 5 cm soil depth. About 1.5 m^2 harvested at the physiological maturity stage. The evaluated traits were the total dry weight, seed yield, 1000 seed weight, pod per plant, seed per pod, oil percentage and protein percentage.

Results and Discussion

The results indicated that the water deficit stress reduced the total dry weight, seed yield, 1000-seed weight, pod per plant, seed per pod, oil percentage and protein percentage of soybean. The PGPR application improved all measured traits of soybean in all irrigation regime treatments. The highest seed yield (380.9 g m^{-2}) and total dry weight (1082.8 g m^{-2}) were observed in the optimum irrigation and *B. subtilis* treatment for TMS cultivar and the highest 1000-seed weight (136.2 g) and protein percentage (33.2) also were related to the optimum irrigation and *B. licheniformis* treatment for TMS cultivar. The lowest total dry weight (828.1 g m^{-2}), seed yield (134.2 g m^{-2}), 1000-seed weight (84.8 g) and protein percentage (21.4) were related to the water deficit stress from mid pod development stage to maturity stage and no bacteria treatment for Kosar cultivar. The results also indicated that the effects of interaction between irrigation regimes, application of PGPR and cultivars on evaluated traits were not significant.

1- Assistant Professor in Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran
2- MSc student in Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran
3- Associate Professor in Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran
4- Associate Professor in Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran
(*- Corresponding Author Email: f.mondani@razi.ac.ir)

Conclusions

It seems that the PGPR via increasing of the root system and more uptake of water in the rhizosphere could promote the soybean yield and yield components. Nevertheless, as the results showed, the more effects of the PGPR were observed in the I2 treatment compared to other treatments. The PGPR actually could promote the yield and yield components of soybean in the mid water deficit stress.

Keywords: *B. licheniformis*, Drought stress, Oil percentage, Protein percentage, Seed yield, TMS cultivar